



DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO LAMINADO A FRIO FULL HARD PARA INDUSTRIALIZAÇÃO DIRETA*

Matheus Sampaio Modesto de Paula¹
Eduardo Candido de Almeida Wenceslau²
Luiz Claudio Tresmondi³
Michel de Castro Nunes⁴
Fernando Valerio Martins⁵

Resumo

O presente trabalho mostra o desenvolvimento de um produto, até então não comercializado pela CSN/PR, criado para o aproveitamento da capacidade ociosa de seu laminador reversível a frio. Historicamente, a produção do laminador era direcionada exclusivamente para o abastecimento de uma linha de galvanização contínua, mas trabalhos bem sucedidos para o aumento da produtividade do laminador resultaram em capacidade excedente do equipamento. Diante desse cenário, a comercialização de bobinas Full Hard se tornou uma opção viável para a abertura de mercado e aumento de competitividade, frente a atual pressão imposta por produtos importados. Visitas aos potenciais clientes foram necessárias para o levantamento das características importantes a seus processos produtivos e adequação dos parâmetros utilizados no laminador reversível. Atualmente o produto está homologado e sendo fornecido a clientes externos, e espera-se o aumento da carteira, dependendo apenas da evolução do mercado.

Palavras-chave: Full Hard; Novo produto; Competitividade; Abertura de mercado.

DEVELOPMENT OF FULL HARD COLD ROLLED STEEL FOR EXTERNAL CLIENTS

Abstract

This paper shows the development of a new product, which had never been produced for external costumers of CSN/PR. It was intended to take the unused capacity of the reversible cold rolling mill. Historically, the production of the rolling mill was focused on supplying raw material to the continuous galvanizing line, but successful projects conducted to increase the productivity of the mill led to spare capacity of the equipment, so the sale for end-costumers became a good option to utilize the over capacity obtained, leading to competitive edge. Visits to potential customers were required to survey important information about the main needs of general clients, and for the adequacy of the rolling mill set up. The product is currently approved and being offered to external customers.

Keywords: Full Hard; New product; competitive edge; Market.

- ¹ *Engenheiro de Materiais, MSc, Engenheiro de Processos da Coordenação Técnica da Qualidade, Companhia Siderúrgica Nacional - CSN, Araucária/PR, Brasil.*
- ² *Engenheiro Eletricista, Coordenador de Laminação da Gerência de Laminação e Galvanização, Companhia Siderúrgica Nacional - CSN, Araucária /PR, Brasil.*
- ³ *Engenheiro Mecânico, Coordenador de Planejamento de Vendas da Diretoria Comercial, Companhia Siderúrgica Nacional - CSN, São Paulo /SP, Brasil.*
- ⁴ *Engenheiro Metalurgista, Coordenador Técnico da Qualidade da Gerência Geral de Operações Paraná, Companhia Siderúrgica Nacional – CSN, Araucária/PR, Brasil.*
- ⁵ *Engenheiro Mecânico, Engenheiro de Produto da Coordenação Técnica da Qualidade, Companhia Siderúrgica Nacional - CSN, Araucária /PR, Brasil.*

* *Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.*



1 INTRODUÇÃO

A CSN/PR é uma unidade de decapagem, laminação, revestimento, pré pintura e corte de aços planos, instalada em Araucária, região metropolitana de Curitiba.

Seus principais produtos são Bobinas laminadas a quente decapadas, CSN Galvalume, e o Aço Pré Pintado CSN, que como o próprio nome diz, recebe uma camada de tinta que confere ao aço um excelente acabamento superficial, além de um tratamento anti corrosivo diferenciado.

O laminador reversível a frio, 4-HI de uma cadeia da CSN-PR (LRF#1) entrou em operação em dez/2003, com um mix médio esperado de espessuras acima de 0,45 mm. A capacidade de projeto do LRF#1 é de 350kton/ano, suficiente para abastecer a Linha de Galvanização Contínua (LGC), com 330kton/ano de capacidade. Contudo, a partir de 2006, depois de decorridos os anos iniciais da curva de aprendizado, a LGC e o LRF#1 não vinham apresentando a mesma capacidade produtiva, conforme era a expectativa do projeto.

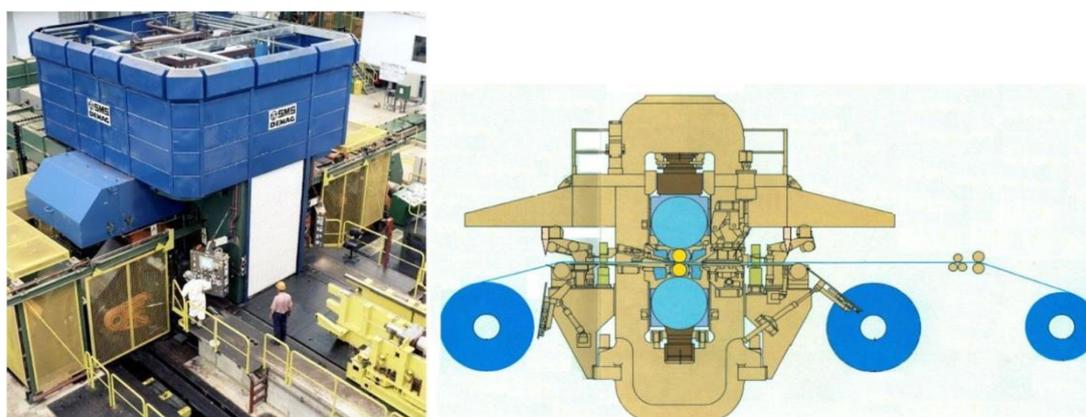


Figura 1: Laminador Reversível a Frio - LRF#1.

O abastecimento da linha de galvanização foi então complementada pela produção de outros laminadores do grupo CSN, que nem sempre tinham disponibilidade para essa entrega já que essa complementação não era prevista, motivando o desenvolvimento de projetos para o aumento de produtividade do equipamento. Após a conclusão de tais trabalhos, a produção do LRF#1 superou o volume necessário para o abastecimento da LGC, gerando ociosidade do equipamento e a oportunidade de desenvolvimento de projetos para o aproveitamento da capacidade total do laminador, reduzindo os custos de operação, e aumentando assim a competitividade da CSN.

O projeto foi iniciado a partir de uma ação conjunta entre as áreas de produção e comercial, visando a abertura do mercado para a aplicação do volume excedente de laminados a frio full hard.

O projeto foi estruturado de acordo com o modelo criado pelo PMI (*Project Management Institute*), e descrito em sua principal publicação, que é um guia com práticas de gerência de projetos chamado de “*A Guide to the Project Management Body of Knowledge*” ou mais popularmente conhecido como PMBOK.

* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.



2 MATERIAIS E MÉTODOS

O modelo baseado no PMBOK foi escolhido por ser capaz de viabilizar a conclusão do projeto de maneira satisfatória no menor tempo possível e com o menor custo. Esse modelo pode ser organizado em cinco grupos de um ou mais processos:

- 1 – Processo de iniciação
- 2 – Processo de planejamento
- 3 – Processo de execução
- 4 – Processo de monitoramento e controle
- 5 – Processo de encerramento

Estes grupos de processos não representam necessariamente fases do projeto, sendo que certos processos podem ser repetidos [1], e processos de monitoramento e controle devem ser conduzidos ao longo de todo o projeto, conforme representado no desenho esquemático da figura 2:

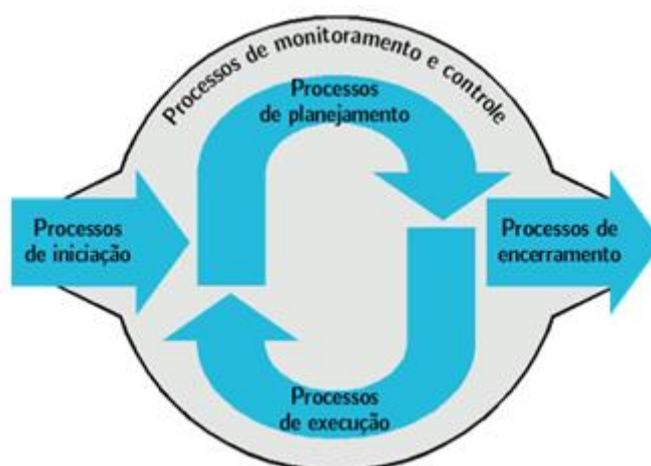


Figura 2: Interação entre os processos, como descrito no PMBOK.

O desenvolvimento do projeto, e a maneira como foi conduzida cada fase serão expostos a seguir:

2.1 Iniciação

No final de 2013, o LRF#1 passou a ter capacidade ociosa de produção após a conclusão de trabalhos para o aumento de sua produtividade, e o presente projeto foi iniciado visando à redução de custos e o aumento da competitividade da CSN através do aproveitamento da capacidade extra de produção do laminador.

O objetivo do projeto foi então claramente definido como sendo a produção de bobinas laminadas a frio full hard (BFH) a partir do LRF#1 para fornecimento como produto semi acabado a clientes externos, mais especificamente relaminadores.

Em parceria com um cliente, foram realizadas visitas em sua produção para avaliar as reais particularidades e necessidades do produto, já que toda produção do LRF#1 era aplicada exclusivamente para a produção de bobinas zincadas ou galvalume.

Um termo de abertura do projeto (Project Charter) foi então elaborado, reconhecendo formalmente a criação do projeto para a elaboração de seu escopo.

2.1.1 Escopo do projeto

* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.



Com o objetivo já definido, foi elaborado o escopo do projeto:

- Definição das necessidades do cliente.
- Definição das características de qualidade a serem controladas.
- Definição dos parâmetros de processo no LRF para o atendimento das características de qualidade necessárias ao cliente.
- Criação do fluxo para atendimento de clientes externos de acordo com a quantidade combinada no prazo combinado e com a qualidade contratada.
- Produção e entrega de lotes de teste nas espessuras 0,28 e 0,50 mm.
- Obtenção da aprovação do produto junto ao cliente.

Com o escopo definido a etapa de planejamento pode prosseguir para a elaboração de uma EAP.

2.2 Planejamento

2.2.1 Estrutura Analítica de Projetos – EAP

A etapa de planejamento foi iniciada com a preparação de uma Estrutura Analítica de Projetos – EAP (também conhecido como WBS – work breakdown structure):

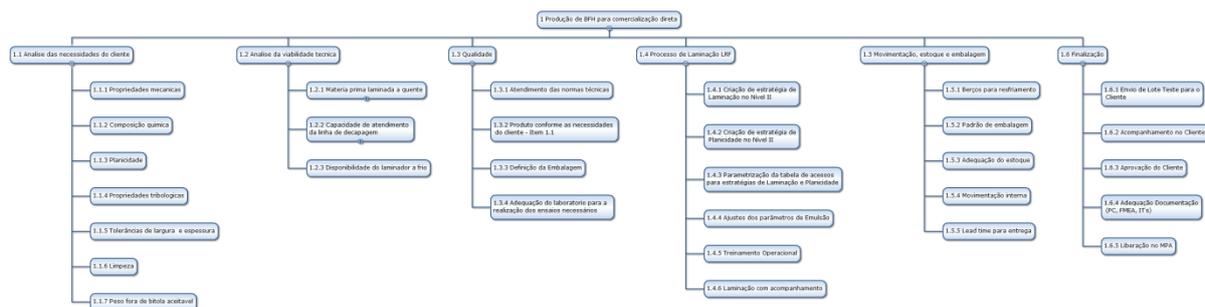


Figura 3: Forma gráfica do EAP

A forma gráfica facilita o preenchimento e a organização da EAP, que foi decomposta em subníveis utilizados posteriormente para o levantamento do tempo necessário para a realização do projeto, seus custos, e riscos.

Os custos e os riscos do projeto foram considerados aceitáveis, pois não seriam necessários grandes investimentos, apenas a adequação do processo de laminação para a produção de acordo com os padrões exigidos pelo cliente, e em caso de falha no atendimento dos requisitos, o material utilizado no teste poderia ser aproveitado na própria LGC, para a produção de Galvalume. O tempo também foi considerado aceitável por coincidir com a necessidade de um cliente que, em parceria com a CSN, colaborou com o desenvolvimento do projeto.

2.2.2 Decomposição da EAP

- Produção de BFH para comercialização direta

- Análise das necessidades do cliente
 - Propriedades mecânicas
 - Composição química
 - Planicidade
 - Propriedades tribológicas
 - Tolerâncias de largura e espessura
 - Limpeza
 - Peso fora da espessura aceitável

* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.



- Análise da viabilidade técnica

- Matéria prima laminada a quente
- Capacidade de atendimento do LTQ
- Capacidade de atendimento da linha de decapagem
- Disponibilidade da linha de decapagem
- Qualidade do produto
- Disponibilidade do laminador reversível a frio

- Qualidade

- Atendimento das normas técnicas
- Produto conforme as necessidades do cliente - Item 1.1
- Definição da Embalagem
- Adequação do laboratório para a realização dos ensaios necessários

- Processo de Laminação LRF

- Criação de estratégia de Laminação no Nível II
- Criação de estratégia de Planicidade no Nível II
- Parametrização da tabela de acessos para estratégias de Laminação e Planicidade
- Ajustes dos parâmetros da emulsão
- Treinamento operacional
- Laminação com acompanhamento

- Movimentação, estoque e embalagem

- Adequação do estoque para o resfriamento do produto
- Definição do padrão de embalagem
- Adequação do estoque para armazenagem
- Movimentação interna
- Definição do *lead time* para entrega

- Finalização

- Envio de lote teste para o cliente
- Acompanhamento no cliente
- Documento de aprovação do cliente
- Adequação da documentação interna (FMEA, PC, IT)
- Liberação do produto para produção

2.3 Implementação

A implementação foi realizada de acordo com um cronograma montado a partir do detalhamento de cada elemento do EAP, e os aspectos mais relevantes dessa realização serão expostos a seguir, sem que o nível de detalhamento dificulte o entendimento do projeto como um todo.

As características visadas para o produto final foram identificadas em visitas ao cliente, onde foram também coletadas amostras, consideradas boas para a aplicação, para a caracterização detalhada do produto no laboratório interno da CSN. Essa etapa foi necessária, pois várias características comumente controladas em laminados a frio full hard, não puderam ser especificadas pelo cliente, que não conhecia detalhes dessas características.

Os resultados da caracterização foram cuidadosamente analisados pelas equipes de engenharia de produto e processo para a definição dos parâmetros utilizados durante a produção no laminador reversível, visando à obtenção do produto final com características semelhantes às encontradas nas amostras coletadas, e

* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.



principalmente, atendendo as solicitações recebidas em reuniões específicas com o cliente.

Foram definidos controles para:

- Composição química: Um grau de aço específico, que atende a composição química das normas SAE 1006 e 1008 foi definido para a aplicação, garantindo o material sempre de acordo com o especificado pelo cliente.
- Tensão limite de escoamento, resistência e dureza: O cliente não especificou faixas para as tensões limite de escoamento e resistência, nem a faixa de dureza ideal para suas aplicações, portanto os valores medidos nas amostras coletadas durante as visitas foram utilizados para a definição das faixas visadas para o produto.
- Rugosidade: A retífica dos cilindros de trabalho foi ajustada para a produção de laminados com rugosidade menor que 0,6 μmRa , conforme solicitado.
- Variação de espessura: Os controles automáticos do laminador são capazes de garantir a variação de espessura dentro da faixa de $\pm 3,5\%$, especificada pelo cliente, não sendo necessárias alterações no processo, ou controles extras durante a produção.
- Variação de largura: A tolerância de largura atendida segue a norma ABNT NBR 11888:2008, e para o atendimento dessa faixa, a linha de decapagem passou a aparar as bobinas laminadas a quente no limite máximo permitido pela norma ($-0/+5$ mm para a dimensão em questão), pois o processo de laminação a frio no LRF reduz a largura do produto final em cerca de 2 mm.
- Foram criadas estratégias de laminação específicas para a produção das BFH's para clientes externos, visando o perfil plano.
- Porcentagem fora de bitola: Uma das solicitações do cliente foi o controle do trecho com espessura fora da faixa especificada, que é inerente ao processo de laminação, e tem impacto direto no custo do produto. O limite máximo aceitável foi definido em 2% do peso da bobina, e resultados melhores poderiam ser considerados um diferencial do produto da CSN/PR. A estratégia de laminação adotada, foi criada com foco na produção da BFH com o mínimo do peso com a espessura fora da especificação.
- Faixa de peso: Para o atendimento à faixa de peso especificada pelo cliente (de 10 a 14 toneladas) foi necessário padronizar a divisão das bobinas no próprio laminador, após o processo de laminação.

Além da disponibilidade do LRF, foram analisadas também as disponibilidades do LTQ (Laminador de Tiras a Quente) e da LDS (Linha de Decapagem Semi Contínua) para o fornecimento da matéria prima necessária, além dos aspectos relacionados à movimentação interna, adequação dos estoques, e definição do padrão de embalagem.

Nunca existiu um padrão de embalagem específico para BFH na CSN/PR, pois toda produção era consumida internamente, então foi necessário criar um novo padrão.

2.4 Finalização

Foram enviados 4 lotes para testes iniciais no cliente, dois na espessura 0,28 mm e dois 0,50 mm, que foram acompanhados pela equipe de assistência técnica para avaliação e solicitação de feed back sobre o desempenho do produto. Após o processamento dos lotes iniciais, foram enviadas 400 toneladas, como lote piloto para aprovação e homologação do produto

* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.



Após a aprovação, os documentos internos (FMEA, planos de controle, instruções de trabalho) foram revisados para a finalização do projeto.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Estratégia de Laminação

Foram criadas estratégias de laminação para a produção de BFH nas espessuras 0,28 e 0,50 mm. Para o material com espessura 0,28 mm, a estratégia de laminação foi criada com 5 passes, e com as maiores reduções nos passes iniciais, visando a obtenção de melhores condições de planicidade do produto, já que a aplicação de reduções menores no material já encruado pode aumentar o controle da planicidade nos últimos passes, e conseqüentemente do produto final. Ainda para garantir a melhor planicidade do produto, foram criadas curvas de referência de planicidade exclusivas para o ultimo passe de laminação de BFH para clientes externos.

Já para o produto com espessura 0,50 mm, mais próximo do mix de espessuras produzidas no LRF#1, a estratégia de laminação foi criada com 4 passes, como o padrão utilizado no laminador, porem com limitação de velocidade para garantir a planicidade e limpeza do produto final.

O processo de laminação em laminadores do tipo Tandem, mais comuns, laminam toda a extensão da tira, ao contrario do processo reversível, onde as pontas da tira não são laminadas, e o trecho compreendido entre o cilindro de trabalho e o mandril da enroladeira fica com a espessura da bobina laminada a quente.

Como os clientes atualmente recebem bobinas produzidas em laminadores Tandem, o comprimento fora de bitola torna-se uma característica crítica, pois tem influencia direta na quantidade de sucata gerada durante o processamento, refletindo no custo do material.

Para minimizar esse comprimento fora de bitola, a estratégia de laminação para o material com espessura 0,28 mm foi criada com o valor da tensão de saída do ultimo passe em 160 N/mm², muito acima de 58 N/mm² aplicado para o material padrão, produzido para atender a linha de galvanização. Dessa maneira, a espessura especificada é atingida poucos metros após o fechamento da cadeira, garantindo que o peso do descarte realizado pelo cliente seja menor que 2% do peso da bobina, conforme solicitado. Essa alta tensão pode levar ao colapso da bobina após a retirada do mandril, sendo necessária a realização de mais um enrolamento com a cadeira aberta apenas para o alivio da tensão aplicada na bobina. Após o ajuste da tensão, metade da bobina é enrolada novamente para que sejam gerados dois lotes menores, com cerca de 11,5 ton, visto que a BQ é geralmente laminada a quente com 23 ton. Essa divisão é importante para viabilizar a movimentação interna nos clientes e o transporte rodoviário.

A estratégia de laminação final do produto com espessura 0,28 mm foi criada com 5 passes, mais um enrolamento com a cadeira aberta para o alivio da tensão de bobinamento e mais meio enrolamento, também com a cadeira aberta, para a retirada de duas bobinas menores, de acordo com a faixa de peso especificada, de 10 a 14 ton, cada uma saindo de uma enroladeira reversível.

Já a estratégia de laminação do material com espessura 0,50 mm, mais próxima do mix padrão de espessuras produzidas no LRF, foi elaborada com 4 passes.

As tabelas 1 e 2 mostram as estratégias de laminação para o material com 0,28 e 0,50 mm de espessura, respectivamente:

* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.


Tabela 1: Estratégia de laminação para produção de BFH com espessura 0,28 mm.

Nº do passe	Redução (%)	Espessuras (mm)		Roll Force (MN/m)	Shift (mm)	Velocidade da cadeira (m/min)	Tensão	
		POR / RR1	RR2				POR / RR1	RR2
1	42	2,09	1,2122	8,376	60	296,9	44,71	94,32
2	36,8	0,7656	1,2122	8,223	20	638,0	149,33	94,32
3	35,9	0,7565	0,4904	7,735	0	630,9	149,33	200
4	27	0,3582	0,4904	7,002	0	880,0	180	180
5	20,7	0,3582	0,2842	8,171	0	981,4	180	160

Tabela 2: Estratégia de laminação para produção de BFH com espessura 0,50 mm.

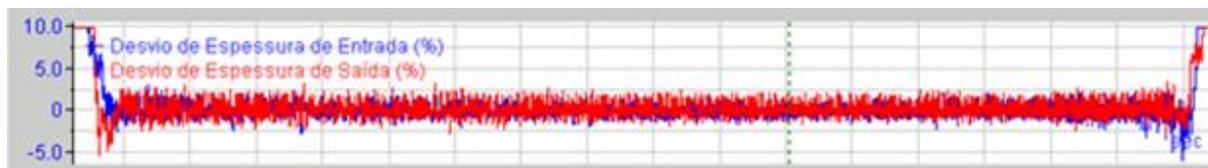
Nº do passe	Redução (%)	Espessuras		Roll Force (MN/m)	Shift (mm)	Velocidade da cadeira (m/min)	Tensão	
		POR / RR1	RR2				POR / RR1	RR2
1	38	2,46	1,525	8,5	60	399,1	37,7	77,4
2	35,7	0,979	1,525	8,32	20	580,0	75,7	112,4
3	30,6	0,979	0,679	7,53	0	836,7	115,65	164,5
4	25,4	0,506	0,679	6,65	0	995,9	62,27	130,12

Para a produção das duas espessuras, a temperatura de alimentação da emulsão foi reduzida para 40°C, e a velocidade do ultimo passe de laminação foi restringida visando a temperatura de bobinamento menor que 100 °C para facilitar a laminação e melhorar o controle da planicidade.

Outros aspectos foram padronizados para facilitar a laminação e garantir a qualidade do produto, como o uso de cilindros de trabalho com perfil CVC 400, diâmetro máximo de 420 mm visando redução da força de laminação necessária, obtida pela redução da área de contato entre o cilindro de trabalho e a tira, além da padronização do índice de saponificação da emulsão sempre maior que 160 mgKOH/g para garantia de boa lubrificidade sem influencia relevante de contaminantes na emulsão.

Após a definição da estratégia utilizada, foi realizada a conferencia no nível 2 do laminador, para garantir o set up correto.

Os desvios de espessura obtidos no ultimo passe são mostrados na figura 4:


Figura 4: Variação de espessura ao longo da bobina.

A variação da temperatura da tira durante o processo não ultrapassou 100°C e é mostrada na figura 5 para o material com espessura 0,28 mm. A temperatura manteve-se baixa também durante a laminação na espessura 0,50 mm.

* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

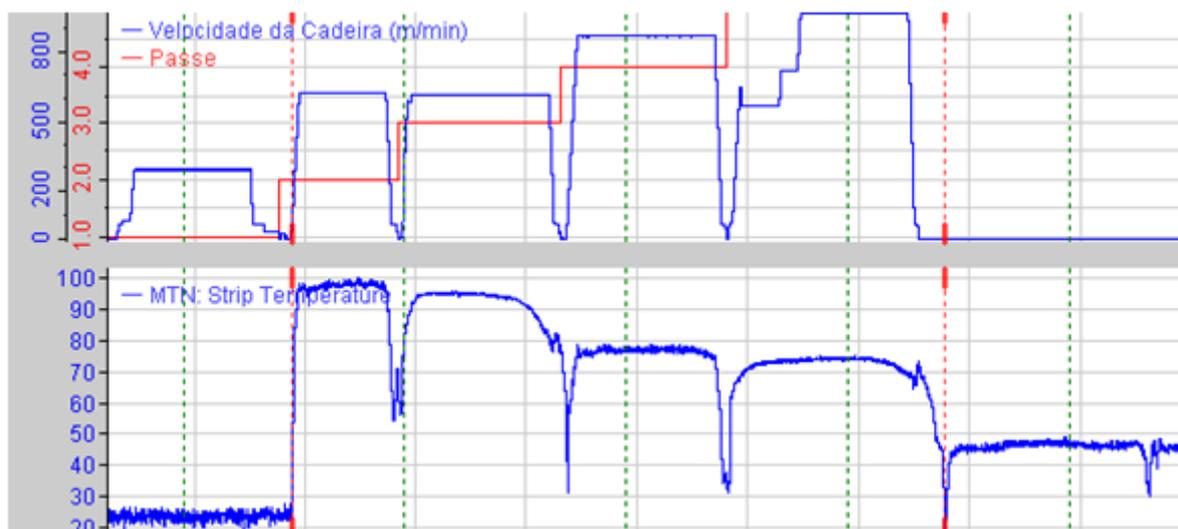


Figura 5: Temperatura da tira ao longo dos passes de laminação.

O diâmetro da bobina na enroladeira foi utilizado para medir o peso do trecho com a espessura fora da especificação, e o resultado de 91 kg ficou abaixo do limite máximo tolerável de 2%, nesse caso 200 kg.

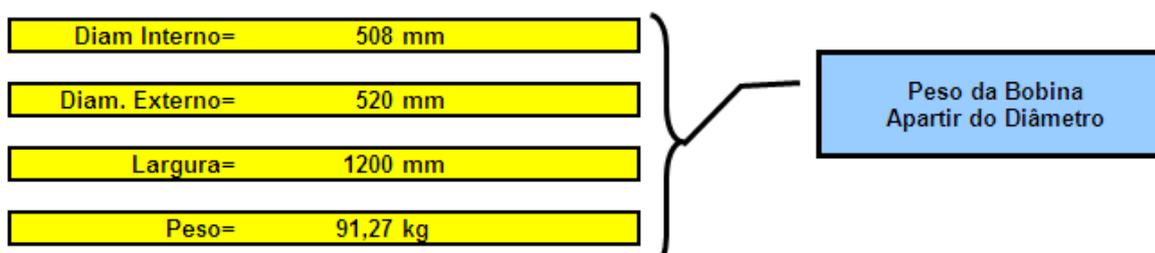


Figura 6: Peso fora de bitola na bobina.

3.2 Embalagem

3.2.1 Resfriamento

Historicamente as bobinas produzidas no LRF#1 não eram embaladas, por serem consumidas internamente, então o estoque foi adequado para possibilitar o resfriamento das bobinas, até níveis baixos de temperatura, para evitar danos às embalagens de bobinas próximas.

O estoque reservado para resfriamento tem capacidade de alocar 250 ton a cada 2 dias, e esta representado no desenho esquemático da figura 7.

* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

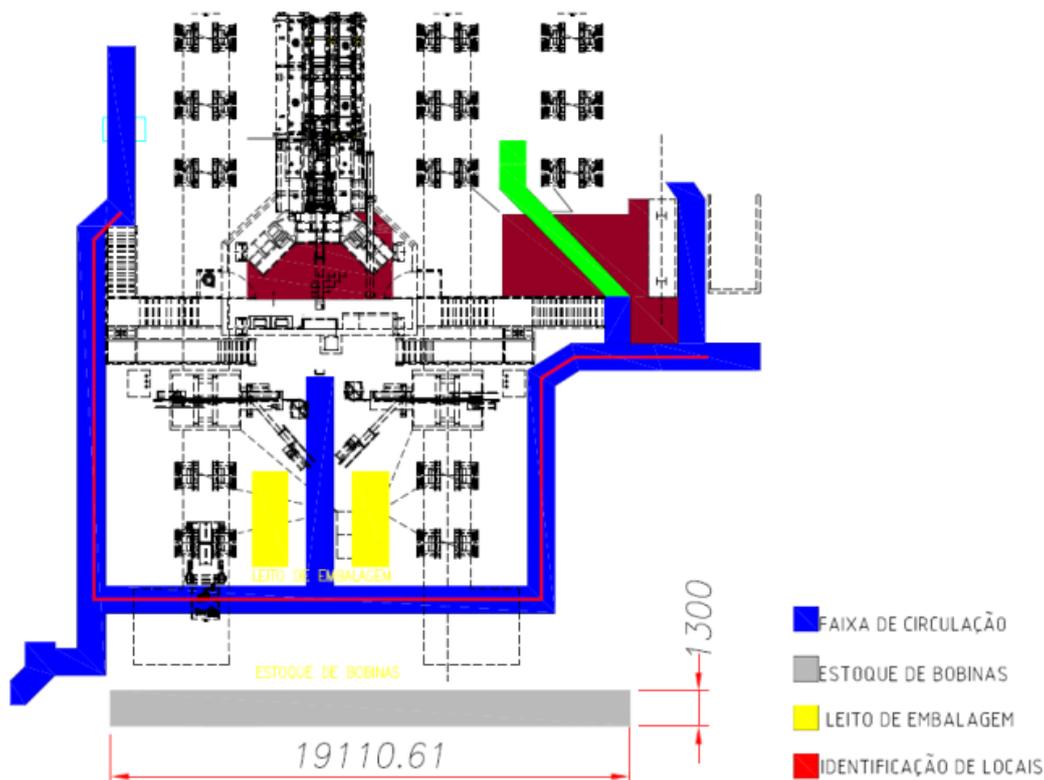


Figura 7: Área reservada para o resfriamento das bobinas após a laminação

3.2.2 Padrão de embalagem

Foram enviados dois padrões de embalagem para o cliente, que aprovou os dois sem restrições, sendo adotado então o de menor custo, mostrado na figura 8:



Figura 8: Padrão de embalagem do produto BFH.

4 CONCLUSÃO

- Todos os requisitos apresentados pelo cliente foram atendidos demonstrando que o LRF#1 é capaz de produzir com qualidade para fornecimento de produto semi acabado a clientes externos.

* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.



- O projeto demonstrou que é possível ainda desenvolver produtos para outras aplicações, além das tradicionalmente atendidas.
- A margem obtida com o produto BFH está atualmente entre as mais altas da CSN/PR.
- O projeto desenvolveu conhecimento para a melhoria da qualidade dos produtos laminados para aplicação interna.
- O produto BFH está homologado e sendo fornecido a clientes externos, sendo uma boa alternativa para o aproveitamento do volume de produção excedente do LRF#1.
- O LRF#1 ainda possui capacidade ociosa, que pode ser preenchida a partir do desenvolvimento de novos produtos.

Agradecimentos

Os autores agradecem toda a equipe da qualidade, especificação, planejamento e logística da CSN/PR, pelo entusiasmo demonstrado durante a participação no projeto e na execução das tarefas designadas, a equipe de produção do LRF#1 pela dedicação na produção do novo produto e a equipe comercial pela visão e talento empregados ao projeto.

REFERÊNCIAS

- 1 Project Management Institute (PMI). Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK). Quarta edição. EUA, Global Standard; 2008.

* *Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.*